

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI  
**RENDICONTI**

---

PIETRO CALOI

**I micromovimenti di una faglia come attenuazione  
della sismicità locale: variazioni della verticale a  
Somplago, associate al transito di variazioni bariche.**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,  
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 58 (1975), n.3, p. 408–413.*  
Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1975\\_8\\_58\\_3\\_408\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1975_8_58_3_408_0)>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)  
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

**Geofisica.** — *I micromovimenti di una faglia come attenuazione della sismicità locale: variazioni della verticale a Somplago, associate al transito di variazioni bariche.* Nota (\*) del Socio PIETRO CALOI.

SUMMARY. — The microvariations of tilting, recorded at the borders of the Cavazzo Lake fault, are examined. It is proved that the swift barometric variations facilitate the mutual sliding of fault surfaces in contact, as effect of action of the atmospheric pressure, in upward phase from West.

At the failing of the barometric microvariations, it follows the temporary standstill of sliding. However, the resulting stress accumulation is never so great to cause a break in elastic field: the mutual sliding of the fault surfaces is namely included in the "episodic stable sliding".

1. Si è accennato altrove ai movimenti, registrati presso la faglia del lago di Cavazzo, in occasione della locale caduta di pioggia: movimenti che si manifestano ampiamente sia sotto forma di variazione della verticale, sia in campo estensimetrico [1, 2].

Qui intendo dar notizia di movimenti di entità nettamente inferiore, ma — per questo — non meno interessanti.

Nell'interno della Centrale di Somplago — dove funzionano stazioni d'osservazione sismica, clinografica ed estensimetrica fra le più potenti d'Europa — il transito di rapide perturbazioni della pressione atmosferica, provoca analoghe perturbazioni microbarografiche. Riporto uno degli esempi meno appariscenti. Dalle 9 alle 18 circa del 24 novembre 1972, scorre sopra Somplago una serie di perturbazioni microbariche, con massimi spostamenti fra le 12 e 1/4 e le 18. Si tratta di variazioni di limitata ampiezza (frazioni di Torr). Ciò non ostante, in corrispondenza di questo transito, il sismo-clinografo LP<sub>2</sub> [3] registra chiare variazioni della verticale, in perfetta concordanza con le rapide variazioni della pressione, massime dove queste sono più accentuate (Tav. I).

Ma le variazioni microbariche sono generalmente più ampie ed attive quando risultano associate a cicloni in transito. Mi limiterò a due casi significativi. Verso le 14 del 10 novembre 1972, la linea sismo-clinografica comincia a perturbarsi, in modo irregolare e discontinuo. Verso le 10, la perturbazione si amplifica e, intorno alle 16, presenta ampiezze sul ritmo di pseudo periodi di 2,2.5-3 minuti, a gruppi irregolari (Tav. II). Queste perturbazioni sismo-clinografiche sono collegate con la brusca ripresa della pressione atmosferica, sempre accompagnata da un'intensa successione di disturbi microbarici, in cui spesseggiano quelli con pseudo periodi di 1-3 minuti primi, nettamente rivelati dai microbarografi. Nel caso in esame, il

(\*) Presentata nella seduta dell'8 marzo 1975.

microbarogramma è stato sensibilmente più mosso di quello in parte riprodotto in Tav. I. Ritengo più significativo riportare il barogramma di Arta Terme (sita a 14 km da Somplago), che registra, in bella evidenza, il salto di pressione accennato. È in corrispondenza delle prime ore di detto salto di pressione (fra le 16 e le 20 e 1/4 circa) che più frequenti e più ampi si susseguono i rapidi disturbi microbarici, sovrapposti alla pressione in fase positiva; ed è a queste rapide variazioni di pressione che rispondono coperiali variazioni della verticale apparente (Tav. II).

Un altro esempio caratteristico si è verificato il 18 dello stesso mese: la Tav. III riproduce il clinogramma EW e il barogramma di Arta Terme. Si noterà che, durante la caduta di pressione, mancano le rapide perturbazioni clinografiche (per l'evidente mancanza di sovrapposti disturbi microbarici in questa fase), mentre esse iniziano verso le 14 - con la pressione in rapida fase positiva - e si intensificano fra le 16 e le 20, contemporaneamente al transito di nuclei oscillanti nella pressione in accentuata ascesa.

2. Le forti variazioni di pressione, associate al transito delle depressioni cicloniche, determinano quindi locali variazioni della verticale (naturalmente, di entità molto inferiore a quelle provocate dalla caduta di pioggia [1]): tali variazioni vengono però fortemente accentuate - direi, facilitate - dalle sovrapposte perturbazioni microbariche (del tipo di quelle riprodotte in Tav. I), sul ritmo di 1-3 minuti circa; perturbazioni che, come è noto, sono particolarmente presenti nella fase iniziale di ripresa della pressione atmosferica.

All'attenuarsi delle rapide variazioni microbariche, anche se la pressione continua a crescere, generalmente si arresta la variazione della verticale, come è provato dal progressivo addensarsi delle linee clinometriche e dalla loro successiva sovrapposizione. Solo se la pressione continua ad aumentare, può riprendere la sua azione sulla verticale, che torna a ruotare verso Ovest (Tavv. II e III).

Per valutare l'entità del fenomeno, dobbiamo ricordare che la stazione sismo-clinografica è sistemata circa 520 metri nell'interno del monte (in senso orizzontale), avendo sovrapposto uno spessore di roccia dell'ordine di 300 metri [4]. Da escludere quindi ogni azione diretta. Se le variazioni di pressione possono ancora agire su posizioni tanto riposte, si deve ritenere ciò dipenda dalla situazione particolare della Centrale di Somplago. Essa si trova infatti agli immediati margini occidentali della faglia del lago di Cavazzo. La zona di montagna che si sprofonda nel sottosuolo, avendo in esso come superficie limite una delle due superficie a contatto della faglia, gode manifestamente di un maggior grado di libertà, nei suoi movimenti. Il fatto che, l'azione delle perturbazioni rapide microbariche - sovrapposte alla pressione atmosferica in fase positiva - agevolino la rotazione della verticale apparente verso Ovest, può essere spiegato osservando che le rapide perturbazioni fanno superare più facilmente l'attrito radente fra le due superficie a contatto della faglia. Analogamente a quanto avviene fra due

tavole animate da movimenti contrari e pressate l'una contro l'altra, che possono più agevolmente porsi in mutuo scorrimento, se si agisce su una di esse con rapida azione intermittente.

3. Il mutuo scorrere delle superficie limiti, a contatto, di una faglia è stato considerato - e lo è tuttora - come una delle cause dei terremoti della crosta terrestre. D'altronde, si danno casi di faglia che, anziché provocare terremoti, liberano la zona circostante dell'accumulo di tensioni. Una di tali faglie è quella del lago di Cavazzo [1].

Resta quindi da stabilire quali fattori fanno sì che il mutuo scorrere delle superficie di una faglia sia stabile o instabile; in altri termini, provochi uno scorrimento continuo (con eventuale successione di deformazioni gra-

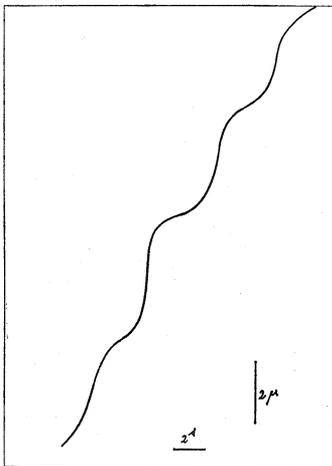


Fig. 1. - Scorrimento stabile episodico (secondo SCHOLZ *et al.*).

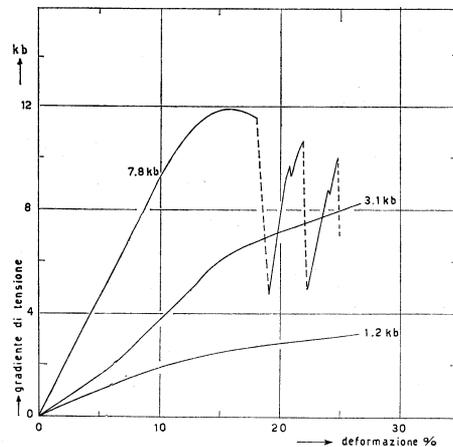


Fig. 2. - Fagliazione instabile per pressioni dell'ordine di 7,8 kb su esemplare di granito compatto (secondo BRACE).

duali - « creeping » -) o uno scivolare a scatti (« stick-slip »), con insorgenza di terremoti. Sono state compiute numerose ricerche di laboratorio, intese a chiarire questi fatti su esemplari di rocce diverse. Naturalmente, i risultati, a parità di altre condizioni, variano al variare della natura della roccia, della porosità, della temperatura, dello spessore del campione sotto esame, . . . [5-8]. In definitiva, non riesce agevole giudicare quanto un esperimento di laboratorio giustifichi il comportamento di una regione sismica.

In questi esperimenti, si è pervenuti a stabilire tre tipi di mutuo scorrimento: stabile continuo, stabile episodico e a scatti (« stick-slip »).

Graficamente, il 2° e il 3° tipo (il primo è di rappresentazione evidente) possono essere rappresentati dalle figg. 1, 2, rispettivamente.

Le tensioni agenti lungo le superficie a contatto di una faglia, sono generalmente sconosciute. L'azione frenante dell'attrito tangenziale  $T_a$  può

essere espressa come segue

$$T_a = T_{a_0} + ky,$$

dove  $T_{a_0}$  è espressione della resistenza d'attrito tangenziale superficiale e  $k$  il fattore della resistenza d'attrito, associato alla profondità  $y$ .

La situazione del movimento a scatti può essere espressa, in forma schematica, come segue [8]. Se  $s$  è l'area della superficie dove si verifica il salto di pressione fra il valore iniziale  $T_1$  e quello finale  $T_2$  e  $\mu$  rappresenta la rigidità, è intanto  $u = \frac{s}{\mu} (T_1 - T_2)$ , dove  $u$  indica lo spostamento. L'energia liberata è quindi

$$E = \frac{s^2}{2\mu} (T_1^2 - T_2^2),$$

quando si tenga presente che l'energia sviluppata vale lo spostamento esteso alla superficie  $s$ , per la media delle tensioni che agiscono su  $s$ .

Il lavoro  $W$ , compiuto in opposizione dell'attrito durante lo scorrimento  $u$ , sarà, a sua volta,

$$W = su \cdot T_a,$$

cioè, tenendo conto dell'espressione di  $u$ ,

$$W = \frac{s^2}{\mu} (T_1 - T_2) \cdot T_a.$$

L'energia sismica liberata  $E_s$  è quindi  $E - W$ :

$$E_s = \frac{s^2}{2\mu} (T_1 + T_2 - 2T_a) (T_1 - T_2).$$

Chiamando *efficienza sismica* [8] il rapporto  $\eta = \frac{E_s}{E}$ , si ottiene

$$\eta = 1 - \frac{2T_a}{T_1 + T_2};$$

oppure, in termini di caduta di tensione  $\Delta T = T_1 - T_2$ ,

$$\Delta T = 2 \left( T_1 - \frac{T_a}{1 - \eta} \right).$$

Ne consegue che la caduta di tensione («stress drop») è indipendente dalla rigidità  $\mu$ .

Nel caso considerato, dev'essere

$$\eta < 1,$$

cioè

$$T_a < \frac{T_1 + T_2}{2}.$$

Infatti, escluso possa essere  $T_1 = T_2$  (in quanto  $E$  e  $W$  si annullano), per  $E = W$ , cioè per  $T_1 + T_2 = 2T_a$  è  $E_s = 0$ , e quindi il problema non si pone.

Nella misura in cui la media delle tensioni iniziale e finale supera la tensione d'attrito, si avrà scorrimento mutuo nelle superficie a contatto; e più grande è il salto di tensione, tanto maggiore diviene la possibilità di scotimenti.

In natura però la vicenda si mostra ben più complessa. In laboratorio lo scorrimento interessa tutto il blocco roccioso in esame, lungo le superficie a contatto. Nelle faglie, il fenomeno può essere limitato ad un tratto circoscritto della spaccatura naturale, la quale può altresì mettere a contatto rocce petrologicamente diverse. Le superficie possono essere di diversa giacitura, geometricamente complesse. Inoltre, la temperatura (crescente con la profondità), influisce certamente sul contrasto delle forze in giuoco.

4. Tornando all'argomento del nostro lavoro, va precisato che noi non registriamo spostamenti ma rotazioni; in altri termini, le ondulazioni associate ai movimenti in parola.

Negli esperimenti di laboratorio, l'instabilità si manifesta in modo brusco, con improvviso salto nei valori della grandezza associata (fig. 2). Nella crosta terrestre, l'inomogeneità del mezzo e l'azione dell'attrito interno, rendono

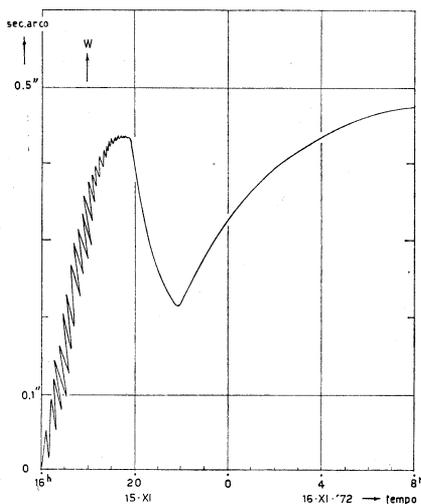


Fig. 3. - Schematizzazione del fenomeno, di cui alla Tav. II. Le microvariazioni bariche, sovrapposte alla pressione atmosferica in rapida ascesa, agevolano la rotazione della verticale verso Ovest (per relativo «innalzamento» del bordo orientale della faglia). Al cessare dei disturbi microbarici, si inverte temporaneamente il movimento di rotazione della verticale, pur continuando l'aumento della pressione atmosferica, la cui persistente azione riporta nuovamente la verticale nella primitiva direzione.

più graduale la deformazione per salto di tensione (almeno finché questo è contenuto entro certi limiti). Ciò è reso manifesto dalla schematizzazione della fig. 3. All'attenuarsi, e al successivo brusco cessare, delle sovrapposte rapide variazioni di pressione, succede un graduale, e quindi rapido, prevalere della resistenza d'attrito radente sull'azione della pressione, in fase crescente da Ovest, fino all'arresto e successiva rapida inversione del senso di rotazione della verticale. In questo intervallo, ad un momento in cui deve ritenersi nullo il mutuo scorrimento delle superficie a contatto (verificantesi in un piano subverticale); seguirà l'azione di elasticità susseguente da parte del mezzo (nel lato più soggetto alla pressione atmosferica in fase crescente).

È come se  $(T_1 + T_2)$  e  $T_a$  mutassero di segno, con la conseguenza di rendere negativo  $E_s$ , a significare che lo scorrimento si manifesta in senso *opposto* al precedente, cioè – nel nostro caso – con rotazione della verticale verso Est. Finché, perdurando l'aumento della pressione da Ovest, la verticale riprenderà il moto di rotazione nel senso primitivo – dapprima rapido, quindi graduale – fino all'equilibrarsi della pressione atmosferica. In questi contrasti, l'apporto per  $E_s$  è comunque generalmente insufficiente per provocare rotture in campo elastico, essendo essenzialmente piccolo il salto di tensione, legato al salto di pressione atmosferica.

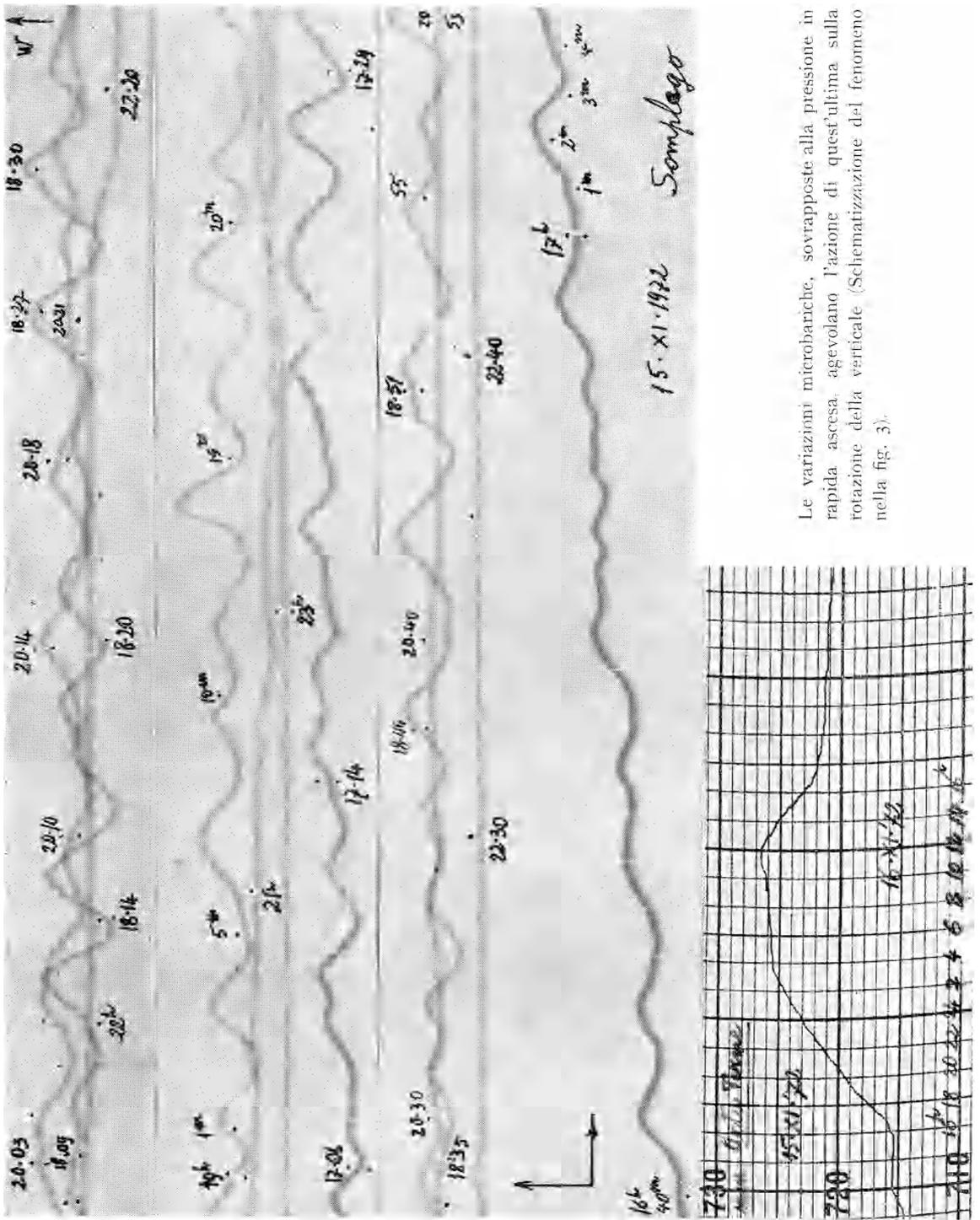
Un salto di tensione efficiente potrebbe conseguire ad una « saldatura » prolungata delle superficie a contatto, capace di consentire un accumulo di tensioni, atte a rompere l'equilibrio elastico delle zone aderenti, così da consentire che la tensione iniziale di sblocco ( $T_1$ ) risulti sufficientemente maggiore dell'abituale tensione di scorrimento ( $T_2$ ). Fatto questo che certamente non si produce nella successione dei fenomeni in esame e neppure in quelli, ben più accentuati, connessi con la locale caduta di pioggia, sia per la periodicità e la scarsa energia dei primi, sia per la generalmente breve durata dei secondi. Possiamo concludere che gli uni e gli altri rientrano nell'*instabilità episodica*, eventualmente soltanto capace di lievi microscosse.

In ogni caso, la frequenza di questi micromovimenti contribuisce ad attenuare l'efficienza sismica locale, e quindi la sismicità nella zona del lago di Cavazzo; attenuazione che è particolarmente efficace durante le grandi piogge.

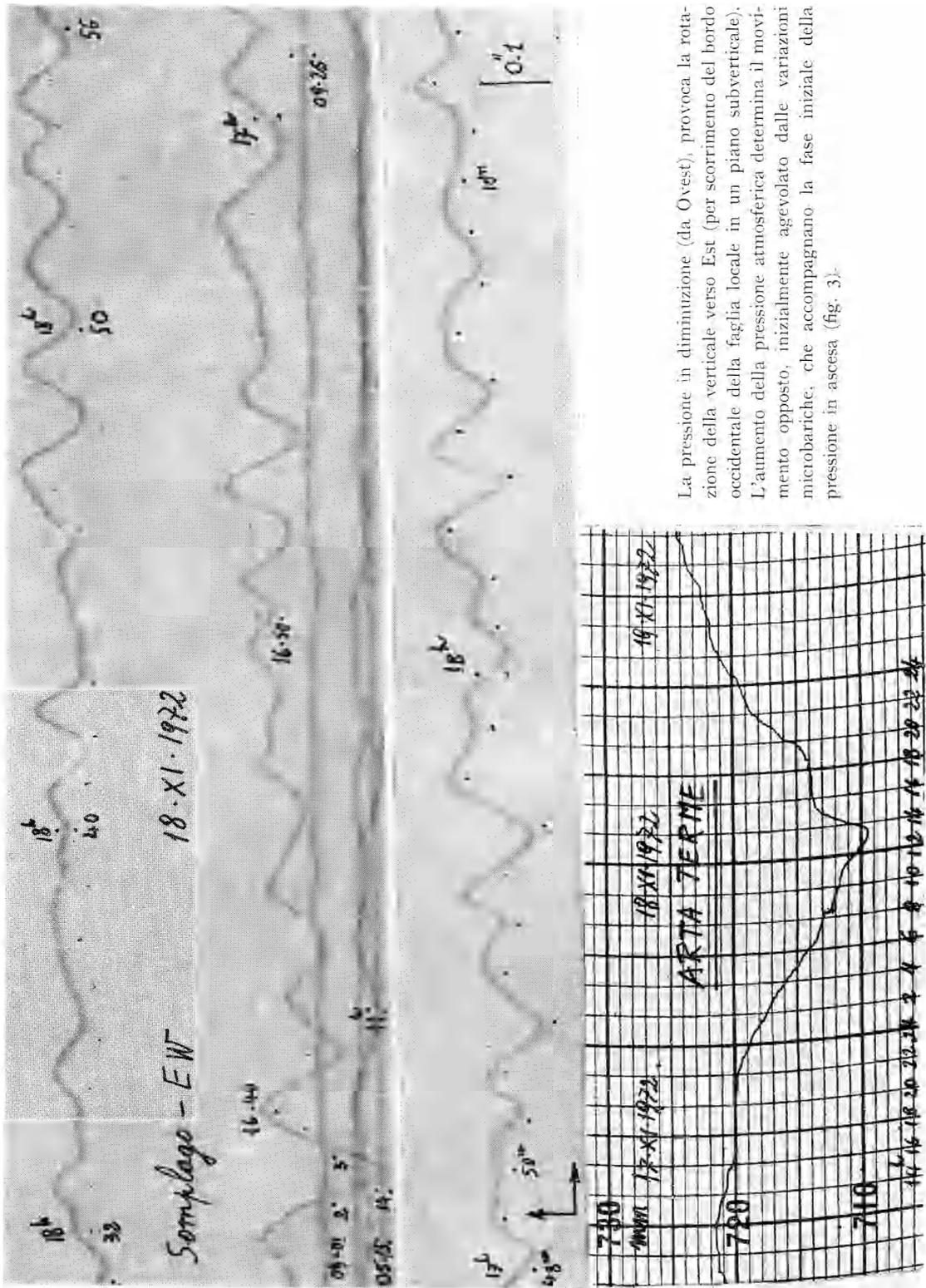
#### BIBLIOGRAFIA

- [1] P. CALOI e M. MIGANI (1972) – *Movimenti della faglia del lago di Cavazzo, in relazione con la locale caduta di pioggia*, « Annali di Geofisica », 25 (1).
- [2] M. MIGANI (1975) – *La stazione estensimetrica presso la Centrale di Somplago*, « Rend. Acc. Naz. dei Lincei » (in corso di stampa).
- [3] M. MIGANI (1973) – *La stazione sismo-climografica di Somplago (Udine) a lunghissimo periodo*, « Annali di Geofisica », 26 (1).
- [4] P. CALOI (1969) – *Relazioni fra sismicità e moti lenti nella crosta terrestre*, « Annali di Geofisica », 22 (3).
- [5] J. D. BYERLE e W. F. BRACE (1968) – *Stick Slip, Stable Sliding, and Earthquakes. Effect of Rock Type, Pressure, Strain Rate, and Stiffness*, « Journal of Geoph. Res. », 73 (18).
- [6] J. B. WALSH (1968) – *Mechanic of Strike-Slip Faulting with Friction*, « Journal of Geoph. Res. », 73 (2).
- [7] W. F. BRACE (1972) – *Laboratory Studies of Stick-Slip and their Application to Earthquakes* « Tectonophysics ».
- [8] Ch. SCHOLZ, P. MOLNAR e T. JOHNSON (1972) – *Detailed Studies of Frictional Sliding of Granite and Implications for the Earthquake Mechanisms* « Journal of Geoph. Res. », 77 (32).





Le variazioni microbariche, sovrapposte alla pressione in rapida ascesa, agevolano l'azione di quest'ultima sulla rotazione della verticale (Schematizzazione del fenomeno nella fig. 3).



La pressione in diminuzione (da Ovest), provoca la rotazione della verticale verso Est (per scorrimento del bordo occidentale della faglia locale in un piano subverticale). L'aumento della pressione atmosferica determina il movimento opposto, inizialmente agevolato dalle variazioni microbariche, che accompagnano la fase iniziale della pressione in ascesa (fig. 3).